

Vergleich von Treibstoffen und Antriebsystemen

von

Bernhard R. Ahlers

**Über den Energieverbrauch, den Energiegehalt,
die Wirtschaftlichkeit und CO₂-Emissionen
verschiedener Treibstoffe und Antriebskonzepte,
sowie Kostenberechnungen der jeweiligen Tanksysteme
für eine landesweite Infrastruktur**

Die steigenden Mobilitätsbedürfnisse der Menschen und die Endlichkeit der Rohstoffe werden dazu führen, dass alternative Kraftstoff- und Antriebssysteme schneller entwickelt werden müssen. Damit einhergehen erhebliche ökologische Herausforderungen. Die Politik hat auf nationaler und EU-Ebene verschiedene CO₂-Reduktionsziele für den Verkehrssektor festgeschrieben.

Der Verkehr ist in Deutschland verursacht seit 2000 den größten Endenergieverbrauch. 2012 betrug dessen Anteil 28 %. Die verkehrsbedingten CO₂-Emissionen im Straßenverkehr sind nach Angaben des Umweltbundesamtes von 144,5 Mio. t im Jahr 2008 auf 147,9 Mio. t im Jahr 2011 angestiegen.

Aktuell wird überwiegend die E-Mobilität gefördert und ob das der richtige Weg ist oder wir derzeit Bioenergieformen subventionieren, die die Treibhausgasemissionen am Ende erhöhen und nicht senken, wurde hier untersucht. Es ist an der Zeit, dass die Biokraftstoffkriterien auch auf Biomasse und alle Antriebssysteme ausgeweitet werden.

Noch müssen nur Biokraftstoffe sich der zentralen Herausforderung „Tank-Teller-Debatte“ stellen. Längst gibt es ein Verfahren „Biokraftstoffes der 3. Generation“^[1], dass diese Debatte überflüssig macht. Ein besonderer Schwerpunkt wurde in der Entwicklung darauf gelegt, dass die Produktion entlang der gesamten Wertschöpfungskette alle geforderten Kriterien weit übertrifft, sowohl in der Vermeidung negativer Landnutzungsänderung als auch in der Sicherstellung der Nahrungsmittel-versorgung.

Die „Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung“ (Biokraft-NachV) beinhaltet verbindliche Nachhaltigkeitskriterien für Biokraftstoffe und Vorgaben zum Nachweis der Nachhaltigkeit. Die EU-Richtlinie 2009/28/EG^[2] gibt vor, wie hoch die Treibhausgaseminderungen von Biotreibstoffen im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen ausfallen müssen.

Die Reduktionsziele der EU lauten:

- bis 2016 35 % = max. 54,0 g CO_{2eq}/MJ (Gramm CO₂ Äquivalent pro Mega Joule)
- ab 2017 50 % = max. 41,9 g CO_{2eq}/MJ
- ab 2018 60 % = max. 33,5 g CO_{2eq}/MJ

In dieser Untersuchung „Vergleich von Treibstoffen und Antriebssystemen“ wurden Verbrauch, Nachhaltigkeit, Kosten und Infrastruktur von Bio- und fossilen Treibstoffen verglichen. Aber auch der Elektroantrieb und die Bereitstellung der Primärenergie wurden unter gleichen Bedingungen der Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) untersucht.

Der Vergleich der Systeme untersucht sowohl die „Tank to Wheel“ als auch durch die „Well to Wheel“-Situation.



Abbildung 1: Grenzen der Energiebilanzen

Folgende Untersuchung durchleuchtet und vergleicht verschiedene konventionelle und alternative

Treibstoffe und Antriebskonzepte, a) vom Tank bis Rad, sogenannte „Tank to Wheel“ (TTW) und b) von der Rohstoffgewinnung (Energieträger) bis Rad „Well to Wheel“ (WTW) im Bezug auf

1. **Energieverbrauch (TTW)**
2. **Energiegehalt**
3. **Energieverbrauch (WTW)**
4. **Wirtschaftlichkeit**
5. **CO₂-Emissionen**
6. **Infrastruktur**

Aus der großen Anzahl von dargestellten Fahrzeugkonzepten werden im weiteren Verlauf dieser Untersuchung folgende Fahrzeugvarianten genauer beschrieben:

- Konventionelles Fahrzeug mit modernem Otto- und Dieselmotor
- Konventionelles Fahrzeug mit Verbrennungsmotor BioEthanol
- Konventionelles Fahrzeug mit Verbrennungsmotor BioMethan
- Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug (Stromnetz)

Biodiesel wurde nicht mit einbezogen, da für Biodiesel ab 2015 gemäß den gesetzlichen Bedingungen der Biokraft-NachV und der indirekten Landnutzungsänderung (iLUC)^[2] höchstwahrscheinlich noch keine praktischen Techniken zur Verfügung stehen, bzw. Alternativen aus Algen- oder BtL-Kraftstoffe wirtschaftlich noch nicht wettbewerbsfähig sein werden.

Als Referenzfahrzeug diene der **smart for two**. Er ermöglicht zur Zeit den objektivsten Vergleich zwischen konventionellen und alternativen Antrieben. Als einziges Model ist er serienmäßig mit drei verschiedenen Antriebskonzepten als Benziner, als Diesel und als elektrisches Model am Markt erhältlich. Die Messungen zum Verbrauch wurden unter Alltagsbedingungen bei unterschiedlichen Wetterbedingungen durchgeführt.

Motor	Leistung	Verbrauch pro 100 km
Benziner	52 kW	4,9 Liter*
Diesel	40 kW	4,5 Liter*
E-Motor	35 kW ¹	26.5 kWh*
FFV ^{[3] [6]}	52 kW	6,35 Liter Super E85 ^[5]
Gasumbau	50 kW	7,9 Liter Biomethan ^[4]

¹ Dauerleistung, 55 kW Spitzenleistung

* Für die Berechnung der Verbrauchswerte dienten Angaben von Privatpersonen, eigenen Versuchsfahrten und Fachzeitschriften z. B. *Auto Motor Sport*, *Auto Bild* und *ADAC*.

1. Energieverbrauch (TTW)

In Abbildung 2 werden die durchschnittlichen Verbrauchswerte des Smart, Type ForTwo in der „Tank to Wheel“ (TTW) Situation dargestellt. Der Energieverbrauch wird einheitlich in streckenspezifischen Energieeinheiten (**kWh/100 km**) angegeben, da es sich um verschiedene Kraftstoffarten handelt.

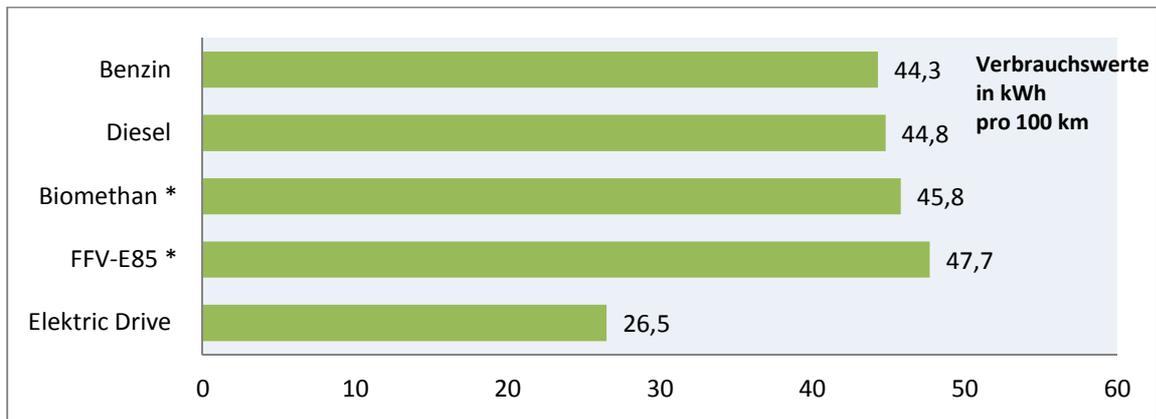


Abbildung 2: *Testwerte ermittelt nach Umbau/Nachrüstung eines smart for two-Modells ^[3]

Beim direkten Vergleich der der Verbrauchswerte sind die des elektrischen smart for two am niedrigsten. Anders als batteriebetriebene Antriebe führen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor ihre Primärenergie im Tank mit. Der Wirkungsgrad moderner Verbrennungsmotoren beträgt ca. 30 %. Abgase, Kühlung und mechanischer Abtrieb verbrauchen den Großteil der Energie.

1. Energiegehalt

Beim batteriebetriebenen Elektrofahrzeug ergeben sich Verluste durch den Wirkungsgrad des Elektromotors und der Batterie beim Antreiben des Fahrzeuges.

Die Energie aus dem Speicher (Batterie) wird somit mit einem Gesamtwirkungsgrad von circa 63 % in mechanische Energie gewandelt („Tank to Wheel“). Berücksichtigt man weiterhin den Wirkungsgrad beim Laden der Batterie aus dem Stromnetz (circa 90 %), ergibt sich ein Wirkungsgrad von circa 57 % für den Energiepfad „elektrische Speicher-Energie“ zu „Radenergie“.

Die Energie für den „elektrischen Speicher“ wird von batteriebetriebenen Fahrzeugen nicht mitgeführt, sondern „dezentral“ erzeugt und mittels Stromleitungen zu den Batterien transportiert.

Im deutschen Stromnetz kommen verschieden Rohstoffe wie Braun- und Steinkohle, Öl und Erdgas, Atom-, Wind- und Solar-Anlagen zum Einsatz. Zu einem Großteil von ca. 80 % dienen fossile Rohstoffe zur Stromproduktion. Kohle- und Erdgas-Kraftwerke der neuesten Generation haben einen Wirkungsgrad von bis zu 47 %. Transformations- und Leitungsverluste reduzieren den Strom bis zu den Steckdosen im deutschen Stromnetz um weitere 12 %. Bis zu 75 % der Energie, die im Rohstoff enthalten ist, gehen auf dem Weg der Stromerzeugung zur Batterie „verloren“.



Abbildung 3: Weg vom Rohstoff zur Batterie

Für eine Fahrstrecke von 100 km mit dem „**smart electric drive**“ werden zum Beispiel für die Stromerzeugung mehr als 13 kg Kohle (Rohstoff), bzw. 106 kWh Energie benötigt.

Flüssigtreibstoffe, ob Diesel, Otto- oder Biotreibstoffe, sind nicht ohne Verluste herzustellen. Die Rohstoffe haben einen langen Weg von der Förderstelle bis zur Tanksäule hinter sich.

Bei **Dieselmotoren** trägt der höhere Wirkungsgrad des Dieselmotors zur höheren

Energieeffizienz verglichen mit dem Ottomotor bei, was sich im geringem Kraftstoffverbrauch auswirkt. Bei Biomethan und Bioethanol als Kraftstoff ist der Weg der Bereitstellung entscheidend.

In folgender Tabelle wird der Energiebedarf der verschiedenen Flüssigtreibstoffe, die bei Herstellung von einem Liter beansprucht werden, aufgeführt.

Kraftstoffart	Energiebedarf zur Herstellung* kWh/l	Energiegehalt kWh/l	Energiebilanz kWh/l
Benzin	-5,42	9,03	+3,61
Diesel	-7,20	9,97	+2,77
Biomethan	-3,49	5,83	+2,34
Super E85	-2,64	7,63	+4,99

Abbildung 4: * Quelle: BP, eigene Berechnungen

Abbildung 4 zeigt den Energiegehalt der verglichenen Kraftstoffe, den Energiebedarf für die Bereitstellung sowie die Bilanzsumme der verschiedenen Flüssigkraftstoffe. Wenn nur der Energiegehalt der Kraftstoffe verglichen wird, ist der Dieselmotor der uneingeschränkte Spitzenreiter. Es scheint, dass Diesel mit 9,97 kWh (35,87 MJ) pro Liter ca. 1/4 mehr Energie als Super E85 mit 7,63 kWh (27,45 MJ) der ideale Treibstoff für moderne Antriebskonzepte ist.

2.1 Energiebilanz mit Vorkette

Welche Emissionen in welchem Umfang im Straßenverkehr entstehen, hängt nicht nur vom Antriebskonzept der Fahrzeuge ab. Auch die verwendeten Energieträger und ihre gesamte Energiebilanz spielen eine wichtige Rolle. Das gilt speziell für Kohlendioxid, dem ein besonderer Anteil am vom Menschen verursachten Klimawandel zugeschrieben wird.

Die folgende Tabelle gibt die Energiebilanz unter Berücksichtigung der Energievorketten von Flüssigkraftstoffen wieder, bezogen auf die Bereitstellung von 1 kWh „Brennstoff“.

Kraftstoffart	Energiebedarf zur Herstellung kWh	Energiegehalt kWh	Energiebilanz kWh
Benzin	0,60	1,00	0,40
Diesel	0,72	1,00	0,28
Biomethan	0,59	1,00	0,41
Super E85	0,34	1,00	0,66

Abbildung 5: Energiebilanz mit Vorkette bezogen auf die Bereitstellung von 1 kWh

In der Diskussion um die effektivsten Kraftstoffe und Antriebskonzepte der Zukunft untersucht diese Studie auch die dazugehörigen „Vorketten“, die zur Bereitstellung bzw. Herstellung der Kraftstoffe benötigt werden. Nur wenn alle Parameter von der Quelle bis zum Rad (Well to Wheel) gerechnet, bewertet und verglichen werden, ist eine objektive Beurteilung gegeben.

2. Energieverbrauch (WTW)

Folgende Abbildung zeigt den Energieverbrauch kumuliert mit dem Energiebedarf aus den Vorketten auf einer Fahrstrecke von 100 km in kWh.

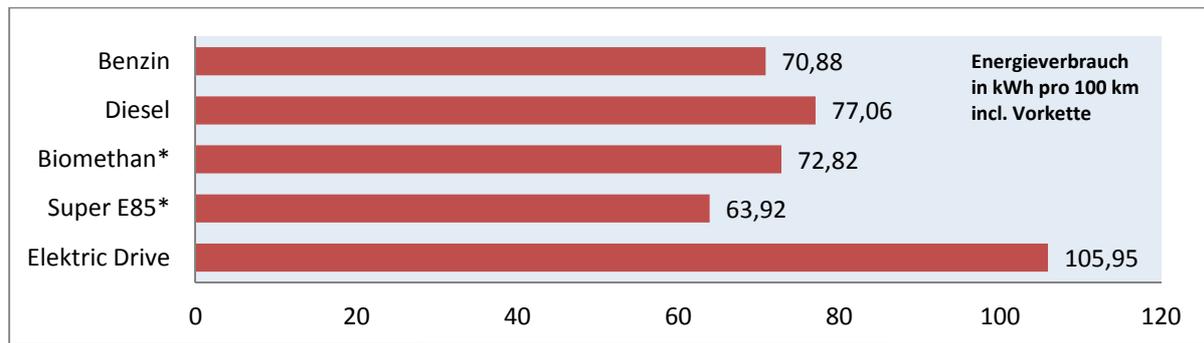


Abbildung 6: *Werte ermittelt nach Umbau/Nachrüstung eines smart for two-Modells

Durch den hohen Energiebedarf für die Bereitstellung von Dieselmotorkraftstoff, verliert der Dieselmotor im indirekten WTW-Verbrauchsvergleich.

Der elektrisch angetriebene Motor, bedingt durch eine dezentrale Energieerzeugung und damit verbundenen Transformations- und Leitungsverlusten, kann seine Spitzenposition ohne Vorkette nicht einhalten.

Trotz des höchsten Verbrauchs an Treibstoff „Super E85“, verbraucht ein [Flexible Fuel Vehicle](#) ^[6] unter Well to Wheel (WTW) Bedingung die geringste Energie.

Gegenüber dem modernen Ottomotor-Fahrzeug kann der Dieselmotor auch in Zukunft Vorteile bezüglich Energieeffizienz geltend machen, jedoch beläuft sich dieser Vorteil auf lediglich 5 %. Analog zu dem Ottomotor-Fahrzeug kann die FFV-Technologie den größten Beitrag zur Verbrauchsreduzierung leisten und hat in diesem Vergleich den geringsten streckenbezogenen Energieverbrauch in Bezug auf die „WTW“-System-Betrachtung aufzuweisen.

3. Wirtschaftlichkeit

In der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden Anschaffungskosten und Unterhalt nicht berücksichtigt. E-Autos sind in der Anschaffung teurer als die Benziner, Diesel oder mit FFV-Technik.

Die Ausrüstung der FFV-Modelle in der Serienproduktion verursacht Mehrkosten in Höhe von bis zu 60 €. Ob sich die Unterschiede der Mehrkosten aus der Anschaffung amortisieren, hängt auch stark von der zukünftigen „Kraftstoffpolitik“ der Bundesregierung ab. Die Wirtschaftlichkeit vergleicht nur die Kosten der Kraftstoffe im Verhältnis zum Aufwand.

Die Kennzahl **Wirtschaftlichkeit** zeigt somit an, wie effizient ein Kraftstoff ist: die Wirtschaftlichkeit erhöht sich, wenn die Kosten für eine definierte Größe kleiner oder der Aufwand bzw. die Kosten sinken. Die Wirtschaftlichkeit drückt das **Ökonomische Prinzip** (das entsprechend auch als Wirtschaftlichkeitsprinzip bezeichnet wird) in Zahlen aus.

Folgende Abbildung stellt die aktuellen Kosten der Antriebsenergie (Stand: 30.04.2014) inklusive der Kosten aus der Vorkette (WTW) dar. Der Vergleich wird einheitlich in Energieeinheiten kWh, ohne Steuersätze, EEG-Umlage und Öko-Steuer angegeben, da es sich um verschiedene Kraftstoffarten und verschiedenen Steuersätze handelt.

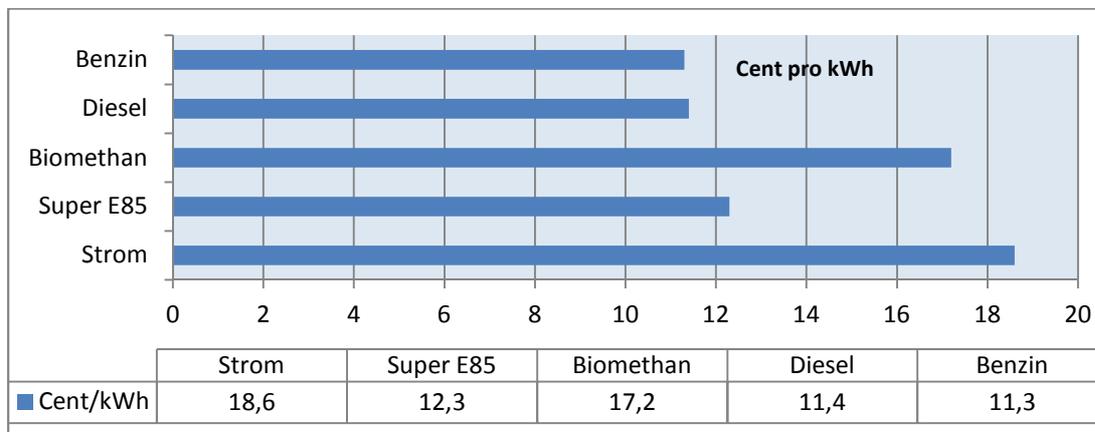


Abbildung 7: Energiebezogen Preise der WTW Situation pro kWh ohne Steuerabgaben

Fossile Treibstoffe sind stark vom Rohölpreis abhängig. Biotreibstoffe unterliegen dem allgemeinen Agrarrohstoffindex. Die Strompreise werden maßgeblich vom Erneuerbaren Energie Gesetz (EEG), Ökostromabgaben, Netzgebühren und letztlich von den Rohstoffkosten für Kohle, Öl und Gas beeinflusst.

Steuersätze und andere Abgaben können von der Politik „beeinflusst“ werden. Rohstoffkosten, insbesondere jene, die aus den endlichen Ölreserven konvertiert werden, unterliegen den Weltmarktpreisen. Kontinuierlich steigende Nachfrage nach Rohstoffen wie Öl und Gas, werden einen steigenden Kraftstoffpreis an den Tankstellen unausweichlich machen. Die Energiesteuerrichtlinie der Bundesrepublik beinhaltet einen Mindeststeuersatz für elektrischen Strom und Energieerzeugnisse aus anderen Energiequellen als Mineralöl. Daher wurden im neuen Energiesteuergesetz weitere fossile Energieträger, d.h. Steinkohle, Braunkohle sowie Koks und Schmieröle aufgenommen. Gesondert wird Strom im Stromsteuergesetz geregelt. Zudem wird seit dem 1. Januar 2004 auch die Besteuerung von Biokraftstoffen im Mineralölsteuergesetz geregelt.

4.1 Wirtschaftlichkeit 2020

Angesichts einer steigenden Nachfrage aus den schnell wachsenden Volkswirtschaften, einer sinkenden Förderleistung und zunehmender Explorationskosten, haben die Rohölpreise seit Anfang 2009 stark angezogen.

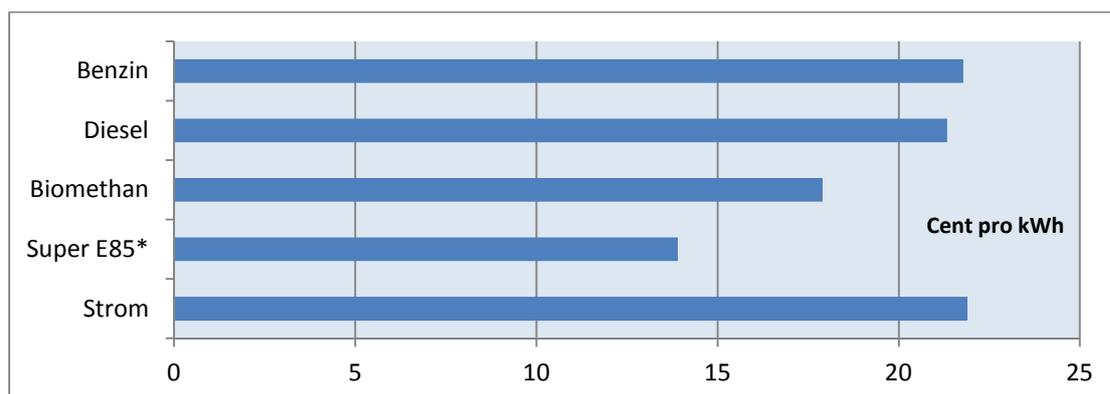


Abbildung 8: * Werte beziehen sich auf Bioethanol der 3. Generation ^[5]

Aufgrund der anhaltenden Verbrauchszuwächse werden Rohstoffpreise in Zukunft tendenziell aufwärts gerichtet bleiben. In dieser Untersuchung werden Studien internationaler Organisationen sowie Informationen, die in den Terminmarktnotierungen enthalten sind, zur Ableitung von Szenarien in der Abbildung 8 für die Entwicklung der Treibstoffkosten bis zum Jahr 2020 herangezogen. Kosten der Antriebsenergie im Jahr 2020 inklusive der Vorkosten (WTW) werden einheitlich in Energieeinheiten kWh gerechnet, da es sich um verschiedene Kraftstoffarten handelt (ohne Steuersätze, EEG-Umlage und Öko-Steuer).

4.2 Tank to Wheel - Kosten

Tank-to-Wheel oder TTW, wörtlich: „vom Kraftstofftank bis zum Rad“ betrachtet die Kostenkette von aufgenommener Energie (Kraftstoff, elektrische Energie) bis zur Umwandlung in kinetische Energie bei Kraftfahrzeugen. Es ist also nur ein Teilbereich der gesamten Energiekette (Well-to-Wheel) im Fahrzeugbetrieb, da die Bereitstellung der Antriebsenergie (Well-to-Tank) ausgeklammert wird.

Folgende Abbildung vergleicht die aktuellen Treibstoffkosten in der „Tank to Wheel“ Situation pro km Fahrstrecke bezogen auf die Treibstoffkosten pro 100 km zum Stand Mai 2014. Der Vergleich wird einheitlich auf Basis der Energieeinheiten kWh berechnet, da es sich um verschiedene Kraftstoffarten handelt. Die angegebenen Preise enthalten keine Steuersätze, EEG- oder Öko- Umlagen.

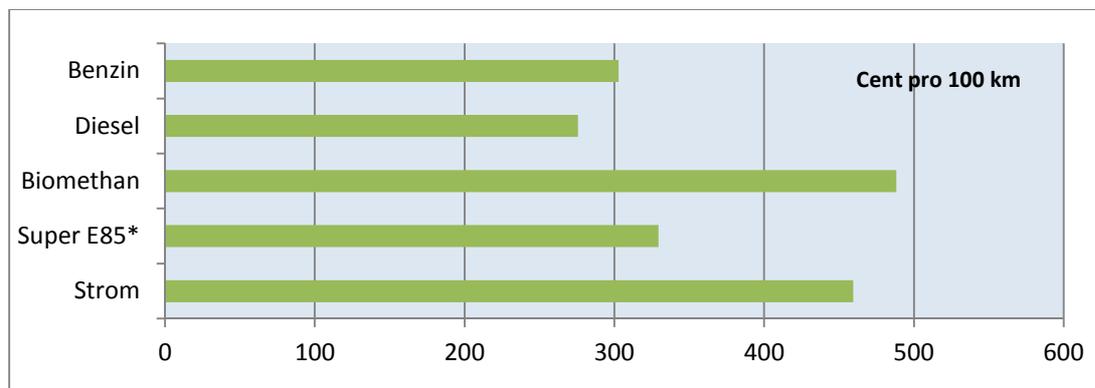


Abbildung 9: * Werte beziehen sich auf Bioethanol der 3. Generation. TTW Situation. Basis kWh

Diesel und Benzin sind heute ohne Energiesteuer und Ökoumlage die kostengünstigsten Treibstoffe. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, ist mit steigenden Benzin- und Dieselpreisen zu rechnen. Im Jahr 2020 könnten sich die Preisvorteile für fossile Kraftstoffe zu Gunsten der biologischen Antriebsmittel verschieben.

Darüber hinaus wird untersucht, inwiefern sich Änderungen der Rohölpreise auf die Benzin- und Dieselpreise auswirken. Es zeigt sich, dass die Treibstoffpreise bei gegebenen Steuern und Abgaben der Ölpreisentwicklung nahezu vollständig auch in den Vorlaufkosten für die Bereitstellung folgen. Kohle, Öl und das enge Substitut Gas stellen wichtige Primärenergieträger für die Stromerzeugung dar. Liberalisierungsschritte in der europäischen Elektrizitätswirtschaft sowie ein hoher Einsatz regenerativer Energiequellen haben dazu geführt, dass für die Vergangenheit nur ein loser Zusammenhang zwischen Öl- und Strompreisen in Deutschland nachgewiesen werden kann. Dennoch dürfte man von den anziehenden Kohle, Öl- und in deren Gefolge Gaspreisen künftig von einem Aufwärtsdruck auf die Strompreise ausgehen.

Abbildung 10 basiert auf Hochrechnungen für das Jahr 2020 auf Grundlage der Preisentwicklungen aus den letzten 10 Jahren. Verbesserungen der Anlagentechnik zur Herstellung von Biomethan und Bioethanol werden die Produktionskosten nachhaltig reduzieren.

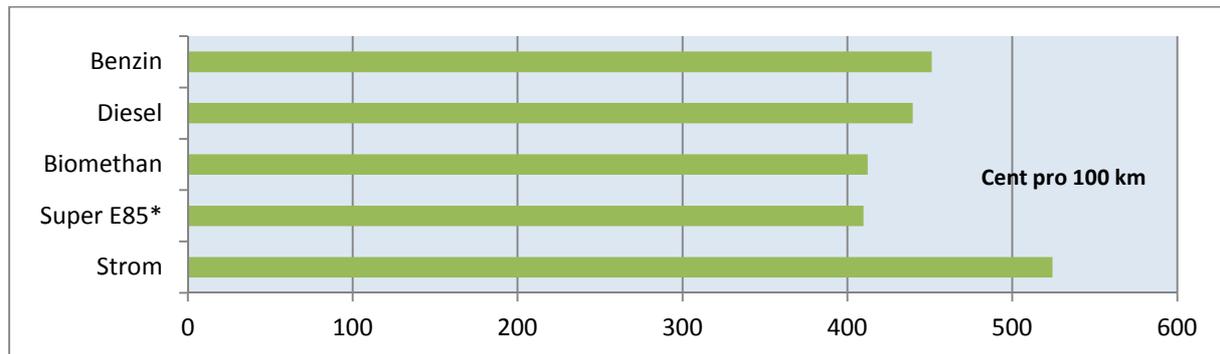


Abbildung 10: * Preise beziehen sich auf Bioethanol der 3. Generation. TTW Situation. Basis kWh

5. CO₂-Emissionen Äquivalent

Kohlenstoffdioxid (CO₂) zählt zu den Treibhausgasen, die zum Treibhauseffekt beitragen und sowohl einen natürlichen als auch einen anthropogenen Ursprung haben können. Sie absorbieren einen Teil der vom Boden abgegebenen Infrarotstrahlung.

Die Emissionen aus menschlicher Aktivität haben die Konzentration von CO₂ in der Erdatmosphäre seit Beginn der Industrialisierung von 280 ppm um knapp 40 % auf 390 ppm (2011) ansteigen lassen. Damit ist die gegenwärtige Konzentration höher als in den letzten 800.000 Jahren, wahrscheinlich auch höher als in den letzten 20 Mio. Jahren.

Kohlenstoffdioxid entsteht u.a. bei der Verbrennung fossiler Energieträger (Verkehr, Heizen, Stromerzeugung, Industrie). Der weltweite anthropogene CO₂-Ausstoß betrug im Jahr 2011 ca. 36.000.000.000 Tonnen (36 GT) und macht etwa 65 % des gesamten Ausstoßes des CO₂ aus.

An den direkten CO₂-Emissionen des gesamten Verkehrsbereichs hat der Straßenverkehr in Deutschland einen Anteil von 85 %, der Pkw-Verkehr 60 %. Somit kommt dem Pkw eine große Bedeutung bei der Verringerung der CO₂-Emissionen zu.

Trotz sparsamerer Motoren und der Verwendung von Bio-Kraftstoff stiegen 2010 die CO₂-Emissionen im Straßenverkehr wieder an. Insgesamt stießen Lkw und Pkw 145,4 Millionen Tonnen des Klimagases aus.

In offiziellen Statistiken werden nur die direkten CO₂-Emissionen dargestellt, die bei der Verbrennung der Kraftstoffe anfallen. Sogenannte „Tank to Wheel“ (TTW) Emissionen.

Die Kette der klimaschädlichen Emissionen beginnt aber schon bei der Gewinnung und Verarbeitung der Rohstoffe, die zu Kraftstoffen konvertiert und zu den Zapfsäulen oder E-Ladestation transportiert werden müssen.

In Abbildung 11 werden auch die indirekten CO₂-Emissionen dargestellt, die „Well to Wheel“ (WTW) Situation.

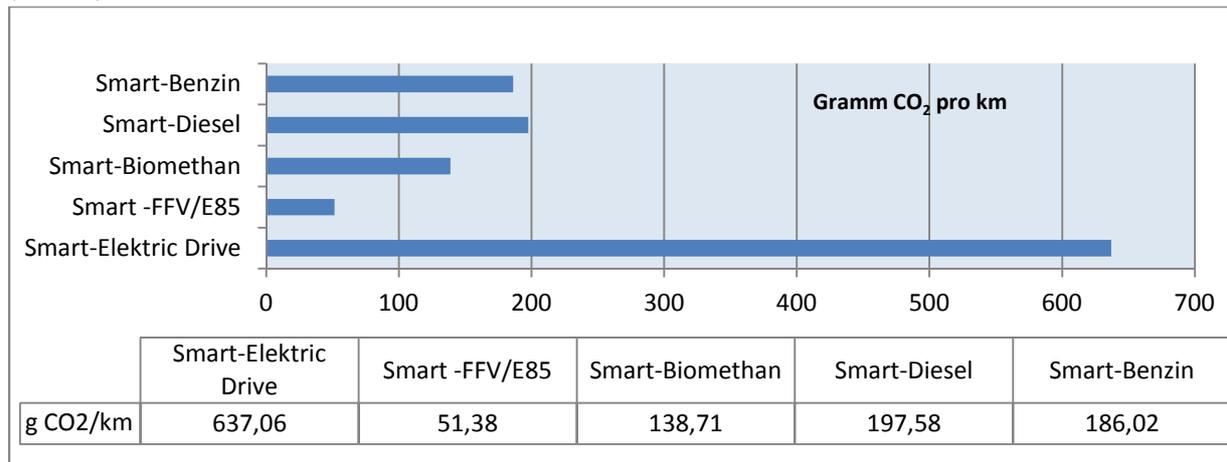


Abbildung 11: WTW-Werte für einen Smart mit unterschiedlichen Antriebskonzepten

Die indirekten oder "grauen" CO₂-Emissionen, die bei der Herstellung von Kraftstoffen entstehen, müssen zu den direkten Emissionen addiert werden, da sie genau wie diese durch den Verbrauch verursacht werden. Für die Atmosphäre und das Klima spielt es **keine Rolle**, in welchem Land, bei welcher Vorkette CO₂-Emissionen in die Erdatmosphäre freigesetzt werden.

Gerade auf dem Gebiet der grauen CO₂-Emissionen hat sich Anfang der 90er Jahre eine Trendwende vollzogen. Das Volumen der fossilen Rohstoffimporte (Öl, Gas, Kohle) ist im Zeitraum von 1985 - 2010 um rund 60 % angewachsen.

6. Infrastruktur

Voraussetzung für den breiten Einsatz von flüssig- und strombetriebenen Fahrzeugen ist die Bereitstellung einer entsprechenden Tankstelleninfrastruktur. Ende 2012 standen 14.336 Tankstellen für über 50 Mio. Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zur Verfügung. Unter Berücksichtigung der verfügbaren regenerativen Primärenergien und einer angestrebten maximalen CO₂-Minderung, müssen Ladestationen für Fahrzeuge mit Elektroantrieb, Tanksäulen für Super E85 und Biomethan installiert werden.

Bisherige Bemühungen alternative Antriebstechnologien voranzubringen seien "unkoordiniert und unzureichend" gewesen, schreibt die EU-Kommission in einem Strategiepapier. Aber das werde sich nun ändern - dafür soll das sogenannte Vorschlagspaket für saubere Energie für den Verkehr sorgen, teilte die Kommission in Brüssel am Anfang des Jahres mit.

Diese Maßnahmen sind darin vorgesehen:

- Konkrete Vorgaben für jedes EU-Land zum Bau von Elektrotankstellen bis zum Jahr 2020 - allein in Deutschland sollen in diesem Zeitraum 150.000 davon entstehen.
- Ein europaweiter Standard für Ladestecker an Elektrotankstellen.
- Ein dichtes Netz von CNG-Tankstellen (komprimiertes Erdgas), europaweit sollen bis 2020 höchstens 150 Kilometer zwischen zwei solcher Zapfstellen liegen.
- Füllstationen für LNG (Flüssigerdgas) entlang wichtiger Routen in der EU im Abstand von höchstens 400 Kilometern.
- Ausbau der Wasserstofftankstellen in ganz Europa sowie die Schaffung einheitlicher Normen, zum Beispiel für Füllschläuche.

Die Kosten sind sehr unterschiedlich. In Abbildung 12 werden die Preisunterschiede für einzelne Ladestationen dargestellt. Müssen für eine Wasserstoffanlage über eine halbe Mio. € investiert werden, erhält man schon für knapp 14.000 € eine elektrische Ladestation. Biomethan-Tankanlagen liegen mit Preisen um 290.000 € im Mittelfeld der Kosten und bei einer Tankanlage für Super E85 belaufen sich die Kosten auf ca. 30.000 €.

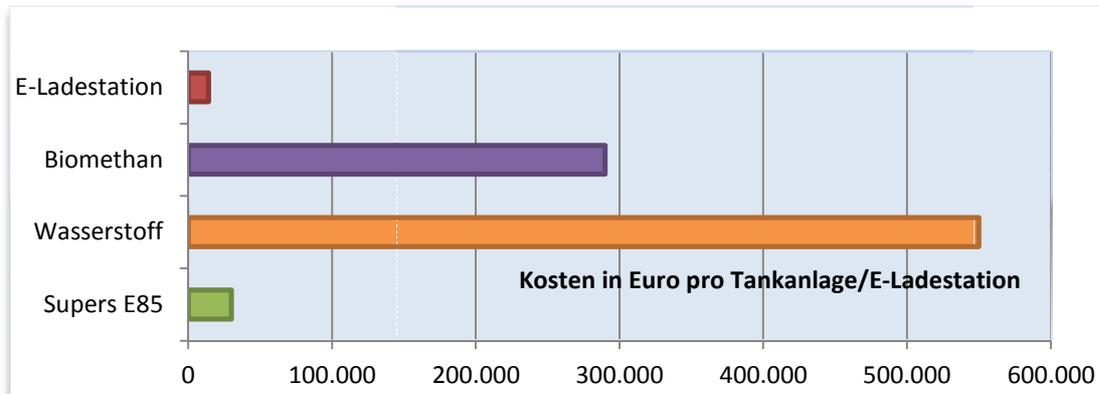


Abbildung 12: Quellen: KBA, BMU, ADAC, bft. Eigene Darstellung

Anders sehen die Kosten für eine flächendeckende Infrastruktur aus. Während für einige Millionen Fahrzeuge, die für Flüssigkraftstoffe (Biomethan/Super E85) geeignet sind, wenige Tausend Stationen für eine flächendeckende Infrastruktur ausreichend sind, müssen für eine Million (1.000.000) Fahrzeuge mit E-Antrieb nach Vorgaben aus Brüssel min. 150.000 Ladestationen auf öffentlichen Flächen (Straßenraum) aufgestellt werden.

6.1 Infrastruktur-Gesamtkosten

Die Gesamtkosten für die unterschiedlichen Antriebskonzepte werden in Abbildung 13 anschaulich dargestellt.

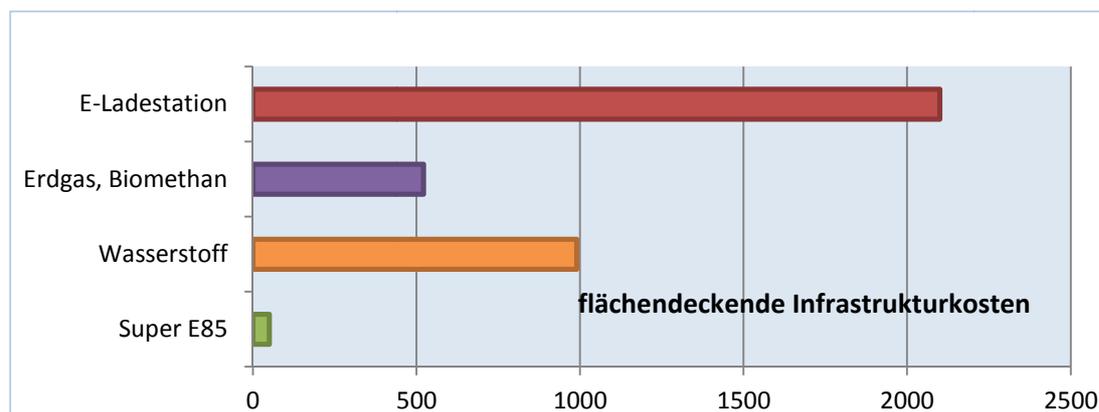


Abbildung 13: * Kosten nur für 1 Mio. E-Autos

Nach den Vorgaben aus Brüssel, soll für eine bessere Akzeptanz von E-Autos die Anzahl der Elektroladestationen in Deutschland bis 2020 auf 150.000 ausgebaut werden.

Die Kosten von über 2 Mrd. Euro (2.000.000.000 €) müssen dann von allen Stromkunden über einen höheren Strompreis zu-finanziert werden. Mit einer Investitionssumme um 50 Mio. € kann eine flächendeckende Infrastruktur für Super E85 aufgebaut werden.

Resümee

Es ist paradox: Deutschland und die Kommission schmieden großen Pläne für mehr saubere Energie und verlieren dann kaum ein Wort über Nachhaltigkeit und Klimaschutz. Denn es bleibt auch offen, woher der Strom für die vielen Elektroladestationen kommen soll. Stammt er nicht aus regenerativen Quellen, bieten E-Mobile im Vergleich zu den herkömmlichen angetriebenen Autos keinen ökologischen Vorteil sondern sind für mehr Kohlenstoffdioxid, CO₂-Emission verantwortlich.

Der Anteil des Kohlenstoffdioxid im Deutschen Strommix betrug 2012 über 601 Gramm pro Kilowattstunde (601 g CO₂/kWh) ohne Anteil aus der „Ökostrom“ Erzeugung. Mit Einbezug der CO₂-Faktoren aus der Öko-Strom-Erzeugung liegen die Werte sogar bei 653 Gramm.

In Abbildung 14 werden die Anteile der CO₂-Emissionen im deutschen Strommix aus konventioneller- und aus der Ökostromgewinnung dargestellt. Mit 335 Mio. t waren die CO₂-Emissionen doppelt so hoch wie die der verkehrsbedingten CO₂-Belastungen.

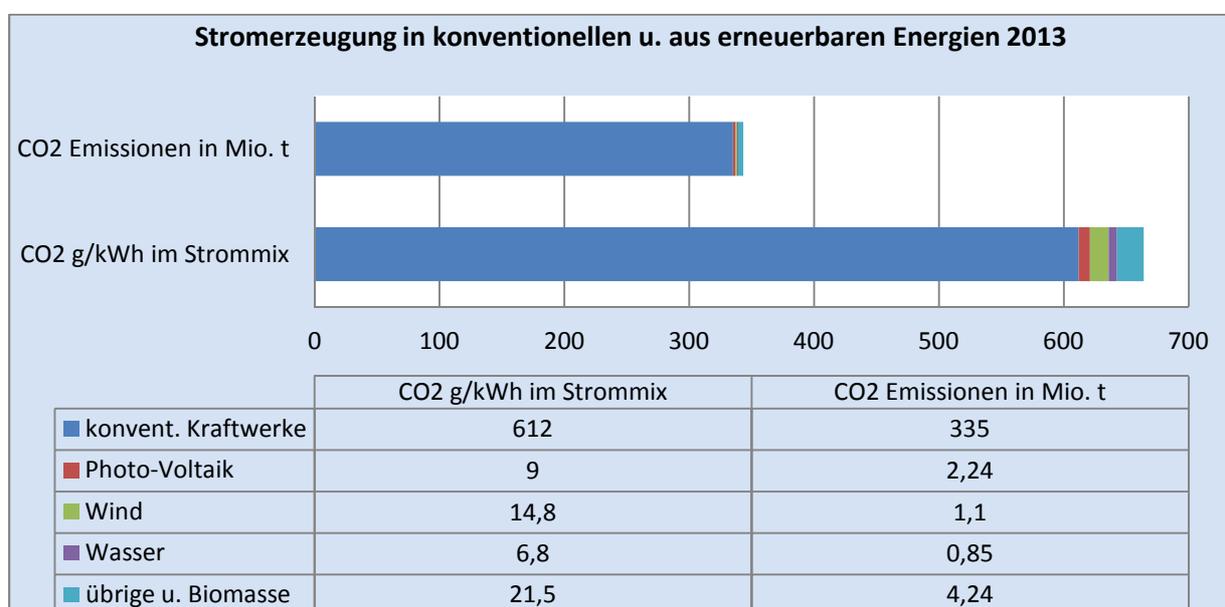


Abbildung 14: Quelle: Umweltbundesamt (UBA) Öko-Institut e.V. Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos

Durch Abschaltung einiger Atomkraftwerke (AKW) wurden konventionelle Kraftwerke, besonders Kohlekraftwerken, zur Sicherung der Stromversorgung „hochgefahren“ (Volllaststunden), weitere Braun- und Steinkohlekraftwerke werden in den nächsten Jahren zusätzlich ans „Netz“ gehen. Ein weiterer Anstieg der umweltschädlichen Kohlendioxid-Emissionen im Strommix ist dann unumgänglich.

Zusammenfassung

- FFV's in Kombination mit Super E85 leisten heute schon, sowohl im TTW-, wie auch im WTW- Vergleich, den höchsten Beitrag zum Klimaschutz.
- In der Energiebilanz gewinnt Super 85 den Vergleich.
- Den Vergleich der Wirtschaftlichkeit gewinnt die Kombination FFV/Super E85.
- Erst wenn in der deutschen Stromerzeugung ein Kohlendioxid-Anteil in Höhe von 180 Gramm pro erzeugter Kilowattstunde (180 g CO_{2eq}/kWh) erreicht ist, werden E-Autos einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.
- Die Kombination: FFV/Super 85 übertrifft heute schon die für 2020 geforderten CO₂- Grenzwerte.
- Beim Vergleich der Infrastrukturkosten liegen die Gesamtkosten der E-Ladesäulen mit Abstand am höchsten, Tankanlagen für Super E85 fallen am günstigsten aus.

Die EU-Verordnung zur Verminderung der CO₂ – Emissionen von Personenkraftwagen

Im Dezember 2008 haben sich Rat und Parlament auf eine Verordnung zur Minderung der CO₂ - Emissionen bei neuen PKW geeinigt.

Am 23. April 2009 wurde die Verordnung auch formell verabschiedet. Die Verordnung schafft einen verbindlichen Rechtsrahmen und gibt der Autoindustrie Planungssicherheit. Besonders wichtig ist, dass bis 2020 der CO₂ - Ausstoß auf durchschnittlich 95 g/km gesenkt werden soll.

Die europäischen Vorgaben werden langfristig die Wettbewerbsfähigkeit alternativer Antriebssysteme steigern helfen, denn die Zukunft gehört effizienten Fahrzeugen – in Europa wie weltweit. Gegenüber dem ursprünglichen Kommissionsvorschlag enthält die Verordnung eine Reihe von Verbesserungen, die u.a. mittel- bis langfristig zu einer verstärkten Minderung der CO₂ - Emissionen führen werden.

Bonus

Für jedes Fahrzeug, das so konstruiert ist, dass es mit einem Gemisch aus Ottokraftstoff und Bioethanol mit einem Bioethanolgehalt von 85 % (Super E 85) betrieben werden kann, wird der CO₂ -Wert bis 31. Dezember 2015 um 5% verringert. Dadurch soll honoriert werden, dass beim Betrieb mit Biokraftstoffen ein größeres Potenzial hinsichtlich Technologie und Emissionsreduktion gegeben ist. Diese Reduktion gilt nur dann, wenn mindestens 30 % der Tankstellen in dem Mitgliedstaat, in dem das Fahrzeug zugelassen ist, diesen Typ alternativen Kraftstoffes anbieten, wobei dieser die Nachhaltigkeitskriterien für Biokraftstoffe nach den gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften erfüllen muss.

Berechnungsgrundlagen und Tabellenverzeichnis

Energie: 1 kWh = 3,6 MJ - 1 MJ = 0,278 kWh

Heizwerte/Energie pro Liter

Benzin	32,48 MJ	9,03 kWh
Diesel	35,85 MJ	9,97 kWh
Biomethan	21,01 MJ	5,84 kWh
SuperE85	27,45 MJ	7,51 kWh

Heizwert, Energie und CO₂-Äquivalente div. Kraftstoffe ohne Vorketten

	MJ/t	kWh/t	MJ/kg	MJ/l	g CO _{2eq} /l	kg CO _{2eq} /GJ
Benzin	43.307	12.039	43,31	32,48	2.721	83,8
Diesel	42.702	11.871	42,70	35,87	3.006	83,8
Bioethanol * ¹	26.650	7.411	26,66	21,06	153	4,70
Biodiesel	37.102	10.314	37,10	32,65	1.590	51,91
Super 95	42.475	11.808	42,47	31,91	2.637	83,1
Super E10	41.641	11.570	41,46	31,34	2.514	78,59
Super Plus	42.475	11.808	42,47	31,99	2.514	83,0
Super E85 * ¹	32.013	8.898	32,01	27,45	669	18,36
Biomethan * ²	26.666	8.642	26,67	21,01	2.190	45,99

*¹ Bioethanol der 3. Generation

*² Dichte 0,81 kg/m³ = 0,6 l Diesel

Berechnung der CO_{2eq}-Werte auf Grundlage der gesetzlichen „Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Erzeugung von Biomasse zur Verwendung als Biokraftstoff“ (Biokraft-NachV)

CO₂-Äquivalenten (inclusive Vorkette in der Herstellung, WTW)

Benzin	85,00 g CO ₂ /MJ * ¹	2.760 g CO₂/Liter	305,74 g CO ₂ /kWh
Diesel	86,20 g CO ₂ /MJ * ¹	3.092 g CO₂/Liter	310,07 g CO ₂ /kWh
Super E85	18,36 g CO ₂ /MJ * ²	669 g CO₂/Liter	66,04 g CO ₂ /kWh
Biomethan	45,99 g CO ₂ /MJ	2.190 g CO₂/Liter	165,43 g CO ₂ /kWh

*¹ Gesetzlich festgelegte Werte

*² Gemische aus 85% Bioethanol und 15% Super 95

Energiebedarf zur Herstellung 1 Liter:

Ottokraftstoff (Super 95) *	19,5 MJ
Diesekraftstoff *	25,9 MJ
Bioethanol	7,7 MJ
Biodiesel	6,9 MJ
Supers E10	18,3 MJ
Supers E85	9,5 MJ
Biomethan	12,9 MJ

* Quelle: BP

Weitere Informationen

- ^[1] Biokraftstoff der 3. Generation basiert auf ein patentiertes Verfahren
- ^[2] Erneuerbare-Energien-Richtlinie (Renewable Energy Directive – RED, 2009/28/EG)
- ^[3] Informationen über Nachrüstungen, E85 und Preise unter:
http://www.ethanoltechnik.de/view_article.asp?Codigo=58
<http://www.iwr.de/bioethanol/auto.html>
- ^[4] 1,6 l Bioethanol entspricht etwa der Energie in 1 l Benzin, da die Energiedichte von Benzin höher ist
- ^[5] Super E85 ist ein Kraftstoff, der zu 85% aus Ethanol und 15% Benzin besteht.
- ^[6] Flexible Fuel Vehicle, kurz FFV bedeutet: Fahrzeug kann mit Benzin und Ethanol in beliebigem Mischungsverhältnis betrieben werden.

Rechtliche Hinweise

Diesen Report stelle ich der interessierten Öffentlichkeit kostenfrei zur Verfügung.
Die unveränderte elektronische Weitergabe ist gestattet, der Nachdruck („print“) bedarf meiner schriftlichen Genehmigung. Von mir entwickelte Schaubilder, Grafiken und Diagramme aus dieser Studie dürfen unter Angabe des Copyrights journalistisch und wissenschaftlich genutzt werden.
Bekanntes Warenzeichen und Logos gehören den jeweiligen Rechteinhabern.